



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111565642 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 24

(21) 申请号 201880085848.5

(22) 申请日 2018.10.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111565642 A

(43) 申请公布日 2020.08.21

(30) 优先权数据
15/837,392 2017.12.11 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2020.07.08

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2018/001350 2018.10.31

(87) PCT国际申请的公布数据
W02019/116087 EN 2019.06.20

(73) 专利权人 医视特有限公司
地址 以色列提拉特卡尔迈勒市

(72) 发明人 O·普鲁斯 约阿夫·利维

(74) 专利代理机构 南京苏创专利代理事务所
(普通合伙) 32273
专利代理师 常晓慧

(51) Int.Cl.
A61B 8/00 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2009326377 A1, 2009.12.31
US 2013253325 A1, 2013.09.26
US 2004122323 A1, 2004.06.24
WO 2016063163 A1, 2016.04.28
CN 104620128 A, 2015.05.13
US 2014269209 A1, 2014.09.18

审查员 孙夏

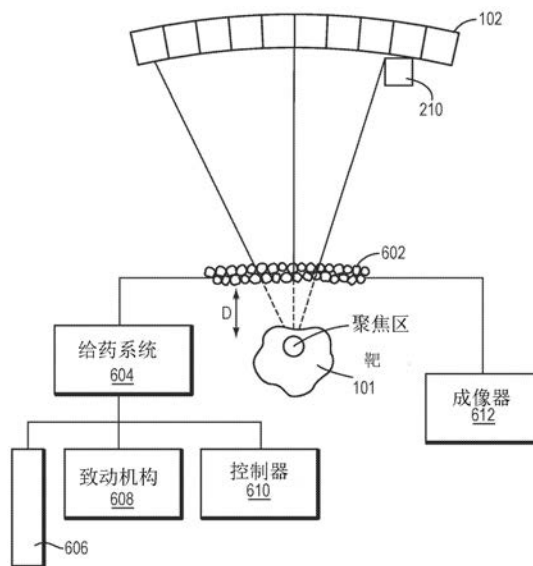
权利要求书4页 说明书13页 附图10页

(54) 发明名称

用于几何特征和像差校正的相控阵列校准

(57) 摘要

用于校准具有多个换能器元件的超声换能器的几何特征的各种方法包括:提供声反射器,所述声反射器跨越从所有(或至少一些)换能器元件传输到聚焦区的超声波的多个波束路径穿过的区域;使换能器元件将超声波传输到聚焦区;测量超声波离开声反射器的反射;以及至少部分地基于测量的反射,确定与换能器元件相关联的最佳几何特征参数。



1. 一种校准包括多个换能器元件的超声换能器的几何特征的方法,所述方法包括:
提供第一声反射器,所述第一声反射器跨过由从至少其中一些换能器元件传输到聚焦区的超声波的多个波束路径所穿过的区域;
使所述至少一些换能器元件将超声波传输到聚焦区;
测量超声波离开第一声反射器的反射;以及
至少部分地基于测量的反射,确定与所述至少一些换能器元件相关联的最佳几何特征参数。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述最佳几何特征参数包括位置或方向中的至少一个。
3. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
分析测量的反射以获得与之相关的相移;以及
计算所述相移和估计相位值之间的相位差,
其中,所述最佳几何特征参数至少部分地基于所计算的相位差来确定。
4. 根据权利要求3所述的方法,还包括估计超声波穿过位于所述换能器元件和所述第一声反射器之间的介质的速度,其中,所述估计相位值至少部分地基于所述超声波的速度来确定。
5. 根据权利要求1所述的方法,还包括计算从所述换能器元件发射超声波的时间到测量所述反射的时间的超声波飞行时间。
6. 根据权利要求5所述的方法,还包括估计超声波穿过位于所述换能器元件与所述第一声反射器之间的介质的速度,其中,实际几何特征参数基于超声波的飞行时间和估计速度来确定。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一声反射器和所述超声换能器具有互补的轮廓形状。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述超声换能器和所述第一声反射器具有同心的球形形状。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述第一声反射器和所述超声换能器具有非互补的轮廓形状。
10. 根据权利要求1所述的方法,还包括至少部分地基于所测量的反射来调整与所述至少一些换能器元件相关联的参数值,以改善聚焦区中的聚焦。
11. 根据权利要求10所述的方法,其中,所述参数值包括驱动所述至少一些换能器元件的信号的频率、相位或幅度中的至少之一。
12. 根据权利要求1所述的方法,其中,通过所述至少一些换能器元件来测量超声波的反射。
13. 根据权利要求1所述的方法,其中,超声波的反射通过声信号检测装置来测量。
14. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
将第一声反射器从第一位置移动到不同于第一位置的第二位置;
测量超声波离开在第二位置处的第一声反射器的反射;以及
至少部分地基于来自第一和第二位置的所测量的反射,确定与所述至少一些换能器元件相关联的绝对几何特征参数。

15. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
在第二位置处提供第二声反射器;
使所述至少一些换能器元件将超声波传输到聚焦区;
测量超声波离开第一和第二声反射器的反射;以及
至少部分地基于所测量的反射,确定与所述至少一些换能器元件相关联的绝对几何特征参数。

16. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
调制发射波的超声频率;以及
至少部分地基于离开第一声反射器的反射来确定与所述至少一些换能器元件相关联的几何特征参数。

17. 根据权利要求16所述的方法,其中,所述超声频率由多个较低频率调制。

18. 根据权利要求1所述的方法,还包括:
使所述至少一些换能器元件顺序地发射多个系列的超声波,每个系列对应于不同的频率;以及
至少部分地基于离开第一声反射器的反射来确定与所述至少一些换能器元件相关联的几何特征参数。

19. 一种用于校准超声系统的几何特征的系统,所述系统包括:
包括多个换能器元件的超声换能器;
第一声反射器,所述第一声反射器跨过由至少其中一些换能器元件传输到聚焦区的超声波的多个波束路径所穿过的区域;以及
控制器,其配置为:
使所述至少一些换能器元件将超声波传输到聚焦区;
测量离开第一声反射器的超声波的反射;以及
至少部分地基于反射测量,确定与所述至少一些换能器元件相关联的最佳几何特征参数。

20. 根据权利要求19所述的系统,其中,实际几何特征参数包括位置或方向中的至少一个。

21. 根据权利要求19所述的系统,其中所述控制器还被配置为:
分析测量的反射以获得与之相关的相移;以及计算所述相移和估计相位值之间的相位差,
其中,所述最佳几何特征参数至少部分地基于所计算的相位差来确定。

22. 根据权利要求21所述的系统,其中,所述控制器进一步配置为估计超声波穿过位于所述换能器元件和所述第一声反射器之间的介质的速度,其中,所述估计相位值至少部分地基于所述超声波的速度来确定。

23. 根据权利要求19所述的系统,其中,所述控制器进一步配置为计算超声波的从所述换能器元件发射超声波的时间到测量所述反射的时间的飞行时间。

24. 根据权利要求23所述的系统,其中,所述控制器进一步配置为估计超声波穿过位于所述换能器元件与所述第一声反射器之间的介质的速度,其中,实际几何特征参数基于飞行时间和超声波的估计的速度来确定。

25. 根据权利要求19所述的系统,其中,所述第一声反射器和所述超声换能器具有互补的轮廓形状。

26. 根据权利要求19所述的系统,其中,所述超声换能器和所述第一声反射器具有同心的球形形状。

27. 根据权利要求19所述的系统,其中,所述第一声反射器和所述超声换能器具有非互补的轮廓形状。

28. 根据权利要求19所述的系统,其中,所述控制器进一步配置为至少部分地基于所测量的反射来调整与所述至少一些换能器元件相关联的参数值,以便改善聚焦区中的聚焦。

29. 根据权利要求28所述的系统,其中,所述参数值包括驱动所述至少一些换能器元件的信号的频率、相位或幅度中的至少之一。

30. 根据权利要求19所述的系统,其中,通过所述至少一些换能器元件来测量超声波的反射。

31. 根据权利要求19所述的系统,还包括用于测量超声波的反射的声信号检测装置。

32. 根据权利要求19所述的系统,还包括用于调节所述第一声反射器的方向或位置中的至少一个的调节机构,其中,所述控制器还配置为:

使调节机构将第一声反射器从第一位置移动到不同于第一位置的第二位置;

测量超声波离开在第二位置处的第一声反射器的反射;以及

至少部分地基于来自第一和第二位置的所测量的反射,确定与所述至少一些换能器元件相关联的绝对几何特征参数。

33. 根据权利要求19所述的系统,还包括位于第二位置处的第二声反射器,其中,所述控制器还配置为:

使所述至少一些换能器元件将超声波传输到聚焦区;

测量超声波离开第一和第二声反射器的反射;以及

至少部分地基于所测量的反射,确定与所述至少一些换能器元件相关联的绝对几何特征参数。

34. 根据权利要求19所述的系统,其中所述控制器还被配置为:

调制发射波的超声频率;以及

至少部分地基于离开第一声反射器的反射来确定与所述至少一些换能器元件相关联的几何特征参数。

35. 根据权利要求34所述的系统,其中,所述控制器还配置为通过多个较低频率来调制所述超声频率。

36. 根据权利要求19所述的系统,其中所述控制器还被配置为:

使所述至少一些换能器元件顺序地发射多个系列的超声波,每个系列对应于不同的频率;以及

至少部分地基于离开第一声反射器的反射来确定与所述至少一些换能器元件相关联的几何特征参数。

37. 一种用于将超声换能器聚焦在靶区域上的系统,所述超声换能器包括多个换能器元件,所述系统包括:

声反射器,其配置为跨越中间介质中的区域,来自换能器的超声波穿过所述区域;以及

控制器,其配置为:

使至少一些换能器元件将超声波传输到靶区域;

测量离开声反射器的超声波的反射;以及

至少部分地基于反射测量,调整与所述至少一些换能器元件相关联的参数值,以便补偿由中间介质引起的波束像差,

其中由声反射器跨越的区域被从至少一些换能器元件传输到靶区域的超声波的多个波束路径穿过。

38. 根据权利要求37所述的系统,还包括用于外源性试剂的给药装置,其中所述外源性试剂中的微泡形成所述声反射器。

39. 根据权利要求38所述的系统,其中,所述给药装置包括:

用于将外源性试剂输送到中间介质中的引入装置;以及

用于从引入装置分配外源性试剂的致动机构;

其中,所述控制器进一步配置为控制致动机构的启用和禁用。

40. 根据权利要求39所述的系统,其中,所述引入装置包括针或导管中的至少一个。

41. 根据权利要求39所述的系统,其中,所述致动机构包括注射器或蠕动泵中的至少一个。

42. 根据权利要求37所述的系统,其中,所述控制器还配置为使所述换能器元件发送超声波,以便生成形成所述声反射器的微泡。

43. 根据权利要求37所述的系统,其中,所述参数值包括驱动所述至少一些换能器元件的信号的频率、相位或幅度中的至少之一。

44. 根据权利要求37所述的系统,其中,通过所述至少一些换能器元件来测量超声波的反射。

45. 根据权利要求37所述的系统,还包括用于测量超声波的反射的声信号检测装置。

46. 根据权利要求37所述的系统,其中,所述声反射器和所述超声换能器具有互补的轮廓形状。

47. 根据权利要求37所述的系统,其中,所述超声换能器和所述声反射器具有同心的球形形状。

48. 根据权利要求37所述的系统,其中,所述声反射器和所述超声换能器具有不同的轮廓形状。

用于几何特征和像差校正的相控阵列校准

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及超声系统,并且更特别地,涉及用于校准换能器由于超声波传播通过的介质产生的几何特征和超声像差的系统和方法。

背景技术

[0002] 聚焦超声(即,频率大于约20千赫兹的声波)可用于对患者体内的内部身体组织进行成像或治疗。例如,超声波可用于与肿瘤切除、靶向给药、打开血脑屏障(BBB)、栓体溶解和其他外科手术相关的应用。在肿瘤切除期间,压电陶瓷换能器放置在患者外部,但紧邻待切除的肿瘤(即,靶区域)。换能器将电子驱动信号转换成机械振动,产生声波的发射(下文称为“超声处理(sonication)”的过程)。换能器可以制成一定的几何形状并与其他这样的换能器一起定位,使得它们发射的超声能量共同在对应于靶区域(或在靶区域内)的“聚焦区”处形成聚焦波束。可选地或另外地,单个换能器可以由多个单独驱动的换能器元件形成,换能器元件的相位可以各自独立地控制。这种“相控阵列”换能器有助于通过调节换能器之间的相对相位将聚焦区引导到不同的位置。如本文所用,术语“元件”表示阵列中的单个换能器或单个换能器的可独立驱动的部分。磁共振成像(MRI)可用于使患者和靶可视化,从而引导超声波束。

[0003] 在聚焦超声程序过程中,进行一系列超声处理,以在不损害周围组织的情况下引起靶组织(例如肿瘤)的凝固坏死。为此,从换能器发出的超声能量必须准确可靠地成形并聚焦到所需的靶位置上。未适当配置的换能器元件会导致不适当的聚焦质量,从而导致治疗无效和/或对非靶组织造成不希望的损害。另外,未适当成形的超声波束可能会在预期聚焦区域以外的其他位置处产生意外的次级热点;这样的热点可能导致不希望的发热、患者疼痛和/或可能非靶组织坏死。

[0004] 换能器输出误差的一个来源是由于换能器元件中的几何缺陷(即与其预期位置的偏差)造成的。例如,假设换能器设计为具有球形形状,则驱动每个换能器元件的软件配置为根据球形模型或设计基于它们的定位来激活各个换能器元件。如果在制造、使用和/或维修过程中一个或多个换能器元件的实际位置偏离了预期位置,或者如果位置由于例如热变形而发生位移,则结果可能是由于根据理想球形模型编程的软件而形成永久的聚焦误差。

[0005] 换能器输出误差的另一个来源是中间介质(例如,流体或组织)的不均匀性,超声波在到达聚焦区之前穿过所述中间介质。超声波可以通过多种过程与所述介质相互作用,包括传播、散射、吸收、反射和折射。例如,介质的不均匀性可能导致声能在具有不同声速的区域的边界处折射。折射可能降低相长干涉,从而降低聚焦区域处的声能的强度。因此,不均匀的介质可能会产生使焦点变形和降低其强度的波束像差和折射,从而影响治疗效率。

[0006] 改善这些问题的一种方法涉及将换能器聚焦在水中的焦点处并使用水听器定位最大强度的焦点。每个换能器元件在最大强度点处被分别启动,每个信号的相位由水听器测量。将每个元件的测量相位与预期相位进行比较,以确定由换能器元件的几何缺陷和/或由水引起的像差导致的相位偏差;然后调整驱动信号以补偿观察到的相位偏差。但是,这种

方法具有许多缺点。例如,由于水听器必须精确地放置在焦点处,因此必须使用例如高精度的扫描仪和电子设备来精确地识别该点;设备可能很昂贵。另外,顺序地对换能器元件进行测试和校准,这很费时间。此外,高超声强度会损坏甚至破坏水听器。

[0007] 校准换能器几何特征误差和/或由中间介质引起的波束像差的另一种方法涉及在焦点处放置点源反射器(例如,微泡)。可以检测来自点源的反射信号,并且可以确定反射信号的测量相位与预期相位(基于预期焦点)之间的偏差;然后可以调整驱动信号以补偿偏差。但是同样,该方法需要昂贵的扫描仪和电子设备来识别焦点,以便将点源反射器与其对准。另外,在高声强度下,点源反射器可能在靶组织上产生微泡空化和/或其他非线性效应,这可能难以控制并且可能干扰校准程序。

[0008] 因此,需要一种有效、经济且可靠的方法来补偿随着超声波通过而在中间介质中的换能器几何特征和不均匀性的偏差,从而产生高质量的聚焦。

发明内容

[0009] 本发明提供了用于准确和可靠校准换能器几何特征以及校正由位于换能器和靶区域之间的不均匀介质引起的波束像差的系统和方法。在各种实施例中,将跨越限定的二维(2D)或三维(3D)区域的声反射器放置在从一个或多个换能器元件传输到聚焦区的超声波的波束路径上。声反射器可以像镜子一样简单,并且可以或可以不与聚焦区重合。为了校准换能器几何特征,可以给换能器元件通电以将超声波束引导到声反射器,并且可以分析来自其的超声反射以确定与反射的超声相关联的幅度和/或相位。然后将用于换能器元件的所测量的幅度和/或相位与期望的幅度和/或相位进行比较以确定它们之间的偏差。随后,可以调节换能器元件的驱动信号以补偿几何缺陷。另外,可以计算与反射相关联的“飞行时间”,所述“飞行时间”限定从自换能器元件发射波的时间到检测到波的时间的时间间隔。基于飞行时间,能够确定每个换能器元件的实际位置。

[0010] 另外,可以在校准程序中调节声反射器的位置和/或方向;然后,换能器元件可以将随后的一系列超声处理发送到在新位置处或具有新方向的反射器,并从其接收反射。以这种方式,可以获得来自不同几何位置的多个反射测量结果以准确地估计换能器元件的几何特征信息(例如,绝对位置)。替代地或附加地,可以利用多个声反射器,且换能器可以将超声处理传送到声反射器。基于所接收的反射,能够确定换能器元件的绝对位置。如本文中使用的,术语“绝对位置”是指换能器元件在超声坐标系中的坐标,或者在一些实施例中,是在实施它们的环境(例如,MRI设备)中的坐标。

[0011] 在一些实施例中,换能器元件的最佳几何特征(与换能器元件的实际绝对几何特征相反)基于反射测量来确定。例如,换能器元件与其预期位置的位置偏差可以是超声波长的小整数(例如,小于10)倍;在这种情况下,在焦点区域仍可能会发生相长干涉。因此,换能器元件的几何特征被认为是“最佳的”,并且不需要对偏差进行调整或补偿。在其他实施例中,在所有换能器元件104中出现恒定的相位偏差(这可能是由于例如对超声波穿过换能器和声反射器之间的介质的速度预测不正确造成的)。在这种情况下,超声波可能仍会在聚焦区产生相长干涉;因此,换能器元件的几何特征也被认为是最佳的,并且不需要对偏差进行调整/补偿。

[0012] 在各种实施例中,声反射器配置为跨越足够大的2D或3D区域,所述区域允许来自

所有(或至少一些)换能器元件的行进到聚焦区的超声波被反射。因此,多个换能器元件可以一次进行校准;这大大减少了用传统方法所需的校准时间。另外,因为声反射器不是必须与聚焦区完全重合,所以超声波可以在到达波束强度最大的聚焦区之前被反射器反射;因此,可以避免由于在聚焦区处的高声强而导致的对反射器的损坏。此外,因为不需要声反射器与聚焦区对准,所以避免了在现有方法中实施扫描和对准系统的成本。

[0013] 为了补偿由位于换能器与靶区域之间的不均匀介质引起的波束像差,在各种实施例中,换能器元件配置为在靶区域处或靶区域附近产生聚焦区,并且声反射器提供在超声波从换能器元件传输到靶区域(优选地在靶区域附近)的波束路径上。声反射器可以是由超声波产生和/或由给药系统肠胃外引入的微泡云。在这样的实施方式中,微泡云的表面形成超声反射器,在超声波到达靶区域前反射超声波。通过分析反射,可以确定由位于换能器和微泡云之间的不均匀介质引起的波束像差。然后可以调节换能器参数(例如,相移和/或幅度),以补偿像差。

[0014] 在各种实施例中,对微泡云的位置、构造(例如,形状)和/或大小进行优化以提供关于波束像差的信息,同时避免了微泡的空化或其他非线性行为。在一种实施方式中,优化基于例如换能器元件的位置和/或方向、靶区域的位置和/或方向,和/或靶组织和中间介质的特性。

[0015] 因此,一方面,本发明涉及一种校准具有多个换能器元件的超声换能器的几何特征的方法。在各种实施例中,所述方法包括:提供第一声反射器,所述第一声反射器跨越由从至少一些换能器元件传输到聚焦区的超声波的多个波束路径所穿过的区域;使其中一些换能器元件将超声波传输到聚焦区;测量超声波离开第一声反射器的反射;以及至少部分地基于所测量的反射,确定与换能器元件相关联的最佳几何特征参数(例如,位置或方向)。第一声反射器和超声换能器可以具有互补的轮廓形状或非互补的轮廓形状。在一些实施例中,超声换能器和第一声反射器具有同心球形形状。另外,所述方法可以包括:分析所测量的反射以获得与之相关的相移;以及计算相移与估计的相位值之间的相差;然后至少部分地基于所计算的相位差来确定最佳几何特征参数。在一个实施方式中,所述方法还包括估计超声波穿过位于换能器元件和第一声反射器之间的介质的速度;所述估计的相位值至少部分地基于超声波的速度来确定。

[0016] 所述方法可以包括计算超声波从由换能器元件发射超声波时的时间到测量到反射时的时间的飞行时间。另外,所述方法可以包括估计超声波穿过位于换能器元件与第一声反射器之间的介质的速度;然后可以基于飞行时间和超声波的估计速度来确定实际的几何特征参数。此外,所述方法可以包括至少部分地基于所测量的反射来调整与换能器元件相关联的参数值,以便改善聚焦区中的聚焦。所述参数值可以包括驱动换能器元件的信号频率、相位和/或幅度。

[0017] 超声波的反射可以通过换能器元件和/或声信号检测装置来测量。在各种实施例中,所述方法包括将第一声反射器从第一位置移动到不同于第一位置的第二位置;测量超声波离开第二位置处的第一声反射器的反射;至少部分地基于从第一和第二位置的测得的反射,确定与换能器元件相关联的绝对几何特征参数。在其他实施例中,所述方法包括在第二位置处提供第二声反射器;使其中一些换能器元件将超声波传输到聚焦区;测量超声波离开第一和第二声反射器的反射;以及至少部分地基于所测量的反射,确定与换能器元件

相关联的绝对几何特征参数。所述方法可以进一步包括：调制传输的波的超声频率；以及至少部分地基于离开第一声反射器的反射，确定与换能器元件相关联的几何特征参数。在一种实施方式中，超声频率由多个较低频率进行调制。替代地，所述方法可以包括：使换能器元件顺序地发射超声波的多个系列，每个系列对应于不同的频率；以及至少部分地基于离开第一声反射器的反射来确定与换能器元件相关联的几何特征参数。

[0018] 在另一方面，本发明涉及一种用于校准超声系统的几何特征的系统。在各种实施例中，所述系统包括：具有多个换能器元件的超声换能器；第一声反射器，其跨越超声波从由至少其中一些换能器元件传输到聚焦区的多个波束路径穿过的区域；以及控制器，其配置为：使其中一些换能器元件将超声波传输到聚焦区；测量超声波离开第一声反射器的反射；以及至少部分地基于反射测量，确定与换能器元件相关联的最佳几何特征参数（位置或方向）。第一声反射器和超声换能器可以具有互补的轮廓形状或非互补的轮廓形状。在一些实施例中，超声换能器和第一声反射器具有同心球形形状。另外，所述控制器可以进一步配置为分析所测量的反射以获得与之相关联的相移并计算该所述相移与估计的相位值之间的相位差；可以至少部分地基于所计算的相位差来确定最佳几何特征参数。在一个实施方式中，所述控制器进一步配置为估计超声波穿过位于换能器元件和第一声反射器之间的介质的速度；估计的相位值至少部分地基于超声波的速度来确定。

[0019] 在各种实施例中，所述控制器进一步配置为计算超声波从由换能器元件发射超声波时的时间到测量反射时的时间的飞行时间。另外，所述控制器进一步配置为估计超声波穿过位于换能器元件和第一声反射器之间的介质的速度；其中，然后根据飞行时间和超声波的估计速度确定实际的几何特征参数。此外，所述控制器可以配置为至少部分地基于所测量的反射来调整与换能器元件相关联的参数值，以便改善聚焦区中的聚焦。所述参数值可以包括驱动换能器元件的信号的频率、相位和/或幅度。

[0020] 超声波的反射可以由换能器元件测量。替代地，所述系统可以包括声信号检测装置，以测量超声波的反射。在一些实施例中，所述系统进一步包括用于调节第一声反射器的方向和/或位置的调节机构。所述控制器然后配置为使调节机构将第一声反射器从第一位置移动到不同于第一位置的第二位置；测量超声波离开第二位置处的第一声反射器的反射；以及至少部分地基于从第一和第二位置测得的反射，确定与换能器元件相关联的绝对几何特征参数。在其他实施例中，所述系统进一步包括位于与第一位置不同的第二位置的第二声反射器。所述控制器还配置为使其中一些换能器元件将超声波传输到聚焦区；测量超声波离开第一和第二声反射器的反射；以及至少部分地基于所测量的反射，确定与换能器元件相关联的绝对几何特征参数。所述控制器可以进一步配置为调制传输的波的超声频率，以及至少部分地基于离开第一声反射器的反射来确定与换能器元件相关联的几何特征参数。在一个实施方式中，所述控制器进一步配置为以多个较低频率来调制超声频率。替代地，所述控制器可以进一步配置为使换能器元件顺序地发射超声波的多个系列，每个系列对应于不同的频率，以及至少部分地基于离开第一声反射器的反射来确定与换能器元件相关联的几何特征参数。

[0021] 本发明的另一方面涉及一种用于将具有多个换能器元件的超声换能器聚焦在靶区域上的系统。在各种实施例中，所述系统包括声反射器，所述声反射器配置为跨越中间介质中的区域，来自换能器的超声波行进通过所述中间介质；以及控制器，所述控制器配置为

使至少其中一些换能器元件将超声波传输到靶区域；测量超声波离开声反射器的反射；以及至少部分地基于反射测量，调节与换能器元件相关联的参数值，以便补偿由中间介质引起的波束像差。所述参数值可以包括驱动换能器元件的信号的频率、相位和/或幅度。在一个实施方式中，由声反射器跨越的区域被从至少其中一些换能器元件传输到靶区域的超声波的多个波束路径经过。

[0022] 另外，所述系统可以包括用于外源性试剂的给药装置；外源性试剂中的微泡可以形成声反射器。在各种实施例中，给药装置包括用于将外源性试剂递送到中间介质中的引入装置（例如，针和/或导管）和用于从引入装置分配外源性试剂的致动机构（例如，注射器和/或蠕动泵）；所述控制器进一步配置为控制致动机构的启用和禁用。附加地或替代地，所述控制器可以进一步配置为使换能器元件发射超声波，以便产生形成声反射器的微泡。另外，超声波的反射可以由换能器元件测量。替代地，所述系统可以包括声信号检测装置，以测量超声波的反射。声反射器和超声换能器可以具有互补的轮廓形状、同心球形形状或不同的轮廓形状。

[0023] 如本文所用，术语“基本上”是指 $\pm 10\%$ ，在一些实施例中， $\pm 5\%$ 。在整个说明书中，对“一个示例”、“一示例”、“一个实施例”或“一实施例”的引用是指结合该示例所描述的特定特征、结构或特性包括在本发明技术方案的至少一个示例中。因此，在整个说明书中各处出现的短语“在一个示例中”、“在一示例中”、“一个实施例”或“一实施例”不一定都指的是同一示例。此外，特定特征、结构、例程、步骤或特性可以在本发明技术方案的一个或多个示例中以任何合适方式组合。本文提供的标题仅是为了方便起见，并不旨在限制或解释所要求保护的技术的范围或含义。

附图说明

[0024] 在附图中，不同视图中相同的附图标记通常代表相同的部件。而且，附图不一定按比例绘制，而是通常将重点放在说明本发明的原理上。在下文描述中，参考以下附图描述本发明的各种实施例，其中：

[0025] 图1示出了根据各种实施例的聚焦超声系统；

[0026] 图2示出了根据一些实施例的用于执行换能器校准程序的声反射器；

[0027] 图3A和3B示出了根据各种实施例，执行换能器校准程序的换能器元件的各种配置；

[0028] 图4A和4B示出了根据各种实施例的声反射器的各种配置；

[0029] 图5A为示出根据各种实施例用于校准换能器元件的几何特征的方法的流程图；

[0030] 图5B为示出根据各种实施例用于在聚焦区域处实现靶聚焦特性的方法的流程图；

[0031] 图6示出根据一些实施例用于测量当行进通过介质时超声波的像差的声反射器；以及

[0032] 图7示出根据各种实施例用于测量当行进通过介质时超声波的像差并调节换能器参数以补偿像差的方法的流程图。

具体实施方式

[0033] 图1示出示例性超声系统100，用于产生聚焦的声能束并将其传送到患者体内的靶

区域101。所述系统100包括换能器元件104的相控阵列102、驱动相控阵列102的波束形成器106、与波束形成器106通信的控制器108,以及向波束形成器106提供输入电子信号的频率发生器110。

[0034] 阵列102可以具有适合于放置在患者身体的表面上的弯曲(例如,球形或抛物线形)或其他轮廓形状,或者可以包括一个或多个平面或其它形状的部分。其尺寸可以在毫米到数十厘米之间变化。阵列102的换能器元件104可以是压电陶瓷元件,并且可以安装在硅橡胶或任何其它适于阻尼元件104之间的机械连接的材料中。也可以使用压电复合材料,或通常任何能够将电能转换成声能的材料。为了确保向换能器元件104传递最大的功率,元件104可以配置为用于50 Ω 的电谐振,匹配输入连接器阻抗。

[0035] 换能器阵列102连接到波束形成器106,波束形成器106驱动各个换能器元件104,使得它们共同产生聚焦的超声波束或场。对于n个换能器元件,波束形成器106可以包含n个驱动器电路,每个驱动器电路包括或由放大器118和相位延迟电路120组成;每个驱动电路驱动换能器元件104中的一个。波束形成器106从频率发生器110接收射频(RF)输入信号,通常在0.1MHz至10MHz的范围内,频率发生器110可以是例如可从斯坦福研究系统(Stanford Research Systems)获得的DS345型发生器。对于波束形成器106的n个放大器118和延迟电路120,输入信号可以分成n个通道。在一些实施例中,频率发生器110与波束形成器106集成在一起。射频发生器110和波束形成器106配置为以相同的频率但是不同的相位和/或不同的振幅来驱动换能器阵列102的各个换能器元件104。

[0036] 波束形成器106施加的放大或衰减因子 a_1 - a_n 和相移 α_1 - α_n 用于穿过位于所述换能器元件104和靶区域之间的中间介质(例如,流体和/或组织)发送和聚焦超声能量到靶区域101上,并导致在中间介质中引起的波形畸变。使用控制器108计算放大因子和相移,控制器108可以通过软件、硬件、固件、硬接线或上述任何组合来提供计算功能。在各种实施例中,控制器108利用以常规方式用软件编程的通用或专用数字数据处理单元,而无需过度实验,来确定换能器元件104的频率、相移和/或放大因子。在一些实施例中,系统100可进一步包括调节机构124(例如,电机、万向节或其他操纵器),其允许对声反射器的方向和/或位置进行调节,如下文进一步所述。

[0037] 为了形成高质量的聚焦,可能需要校准换能器102并考虑换能器的几何缺陷,例如,由于换能器元件104从其预期位置的运动、位移和/或变形而导致的缺陷。参照图2,在一些实施例中,校准程序涉及实施位于换能器102和由超声波产生的聚焦区204之间的声反射器202。在各种实施例中,声反射器202配置为跨越限定的2D或3D区域206,该限定的2D或3D区域206与从所有(或至少一些)换能器元件104传输到聚焦区204的超声波的波束路径208相交。因此,从所有(或至少一些)换能器元件104传输的超声波可以被反射器202立即反射。在一些实施例中,反射波由换能器元件104和/或声信号检测装置210检测到,并且随后提供给控制器108以进行进一步处理,如下文进一步描述。

[0038] 声信号检测装置210可以与超声系统100集成在一起,或者替代地,可以形成与超声系统100通信的独立装置。在一个实施例中,换能器元件104同时具有传输和检测能力。参照图3A,在一个实施例中,每个单独的换能器元件104在将超声信号传输至声反射器202和接收从其反射的超声信号之间交替。例如,所有的换能器元件104可基本上同时在时间 t_1 将超声波传输到声反射器202并且随后在时间 t_2 从其接收回波信号。参照图3B,在一个实施例

中,换能器阵列102被分成发射区域302和接收区域304;发射区域302中的换能器元件发射超声波/脉冲,而接收区域304中的换能器元件接收反射波。然后将接收的反射波传输到控制器108用于分析。发射区域302和接收区域304在换能器阵列的各个位置处可以以不同的图案和形状配置。

[0039] 另外,声反射器202可以配置为具有与换能器阵列102相同或相似的弯曲形状。例如,参照图4A,换能器阵列102可以具有球形402,其中心在聚焦区204处。在各种实施例中,声反射器202配置为具有与换能器阵列102的球形402同心的球形404。因此,从元件104传输到中心(即,聚焦区204)的超声波可以被反射器202反射并被传输波的相同元件104接收。

[0040] 替代地,声反射器202的形状可以与换能器阵列的形状不同。例如,参照图4B,虽然换能器阵列102具有球形形状,但是所示的声反射器202具有平的平面形状。在该配置中,反射波可以由不同于发射波的那些的换能器元件104检测。不管反射器202的形状如何,换能器元件104和/或检测装置210可以被激活以基于声反射器202和发射波的元件104的几何布置来检测来自反射器202的反射波。例如,基于波束路径408的方向和反射器202的方向 \vec{k} ,可以计算出反射波的反射角。然后可以激活位于反射波的波束路径410上的换能器元件以检测反射波。在各个实施例中,发射和接收换能器元件是同步的,以确保准确的计时和测量。

[0041] 在一个实施例中,可以利用多个声反射器,并且换能器可以将声波传送到声反射器。基于所接收的反射,能够确定换能器元件的绝对位置。如本文中所使用的,绝对位置是指换能器元件在超声坐标系中的坐标,或者在一些实施例中,是在实施它们的环境(例如,MRI设备)中的坐标。

[0042] 附加地或替代地,换能器元件104的绝对位置可以使用调频方法来确定。例如,可以以多个较低的频率对从换能器元件104发射的波的超声频率进行调制;可以对从声反射器202反射的信号的相移进行分析以确定换能器元件的绝对位置。在一个实施例中,波束形成器106使换能器元件104发射两个调制频率, f_1 和 f_2 (例如1kHz和100Hz)以及超声频率, f_3 (例如25kHz),相对于声反射器202彼此之间没有相移。首先分析接收的波在100Hz的调制频率(在三个频率中具有最长的波长 λ_1)的相移 φ_1 ,以估计换能器元件与反射器202之间的距离 d ,由下式给出:

$$[0043] \quad d = d_1 = \frac{\varphi_1}{2\pi} \lambda_1$$

[0044] 然后可以分析接收的波在1kHz的调制频率((具有较短的波长 λ_2)的相移 φ_2 ,以提供更高的估算分辨率。这是因为对于相同的相移变化,较高的频率具有较短的对应距离。例如,对于100Hz和1kHz信号, π 的相移分别对应于1.7m和170mm的距离。因此,对测量范围的更精确的近似, d_2 ,可以从下式获得:

$$[0045] \quad d_2 = \frac{\varphi_2}{2\pi} \lambda_2$$

[0046] 距离 d 由下式估算:

$$[0047] \quad d = \text{Int} \left[\frac{d_1}{\lambda_2} \right] \times \lambda_2 + \frac{\varphi_2}{2\pi} \lambda_2$$

[0048] 类似地,在25kHz的频率下对应于相移 φ_3 的测量范围 d_3 由下式给出:

$$[0049] \quad d_3 = \frac{\varphi_3}{2\pi} \lambda_3$$

[0050] 距离d由下式估算：

$$[0051] \quad d = \text{Int} \left[\frac{d_2}{\lambda_3} \right] \times \lambda_3 + \frac{\varphi_3}{2\pi} \lambda_3$$

[0052] 结果,换能器元件与反射器202之间的距离d可以通过下式计算：

$$[0053] \quad d = \text{Int} \left[\frac{\varphi_1(t)}{2\pi} \times \frac{f_2}{f_1} \right] \times \frac{c}{f_2} + \text{Int} \left[\frac{\varphi_2(t)}{2\pi} \times \frac{f_3}{f_2} \right] \times \frac{c}{f_3} + \frac{\varphi_3(t)}{2\pi} \times \frac{c}{f_3}$$

[0054] Eq. (1)

[0055] 其中,c表示超声波穿过换能器102和声反射器202之间的介质的速度。因此,通过以较低的频率调制超声频率,可以使用以上等式确定换能器元件104的绝对位置。在一些实施例中,代替频率调制,多个频率(例如, f_1 、 f_2 和 f_3)依次应用于聚焦区;可以对来自声反射器202的反射进行分析以使用等式(1)确定换能器元件104的绝对位置。

[0056] 可以在校准程序中调节声反射器202的位置和/或方向;然后,换能器元件104可以将随后的一系列超声处理发送到在新位置处或具有新方向的反射器202,并从其接收反射。以这种方式,可以获得来自不同几何位置的多次反射测量结果,以准确地估计换能器元件104的几何特征信息。应当注意,在该方法中,声反射器202的确切位置并不关键,只要反射器202与超声波的波束路径208相交并反射超声波即可;控制器108可以分析声反射器202和元件104的测得的反射和相对几何布置,以获得与换能器元件104相关联的信息(例如,幅度和/或相位),如下面进一步描述。声反射器202的位置/方向的调整可以由用户手动执行,或者由调节机构124自动执行。例如,调节机构124可以使声反射器202绕其一个或多个轴物理地旋转和/或使声反射器202相对于换能器102移动到期望的位置。在一些实施例中,调节机构124响应于来自控制器108的通信。因此,控制器108可以基于在当前位置处以当前方向的来自声反射器202的检测到的反射,确定声反射器202的新的方向/位置(如果需要调节),并使调节机构124相应地移动声反射器202。

[0057] 检测到的反射可以提供给控制器108,以获得与之相关联的信息,例如幅度和/或相位。在一个实施例中,控制器108将测量的反射的相位 $\varphi_{\text{测量}}$ 与反射的预期相位 $\varphi_{\text{预期}}$ (基于所述换能器元件的预期几何特征确定)进行比较,并计算它们之间的差($\Delta\varphi = \varphi_{\text{测量}} - \varphi_{\text{预期}}$)。控制器108然后可以根据所述差来操作换能器元件104,以补偿由于几何缺陷导致的输出误差。在一些实施例中,控制器108还计算超声波在被换能器元件发射到反射波被相同或不同的换能器元件或被声信号检测装置210接收到时之间的“飞行时间”。另外,控制器可以基于声射线模型、临床前试验、预处理程序和/或根据已知文献来估计超声波穿过位于换能器102和声反射器202之间的介质的速度。例如,在美国专利申请第15/613,940号中描述了用于估计超声波穿过介质的速度的系统和方法,该专利的全部公开内容通过引用结合于此。基于所测量的飞行时间和介质中的估计声速,可以确定每个换能器元件的位置。再次,控制器108可以将测得的位置与元件的预期位置进行比较,确定它们之间的偏差并且操作元件以补偿偏差。

[0058] 因此,通过使用声反射器202,可以确定换能器元件的实际位置和方向,并且可以调节其驱动信号以补偿实际位置和方向与预期位置和方向之间的几何特征差异。另外,因

为声反射器202跨越了来自换能器元件104的超声波的多个波束路径208所穿过的区域,所以可以基本同时地校准多个换能器元件。在一个实施例中,声反射器202跨过足够大的区域,以允许使用上述方法基本同时地校准所有换能器元件。这有利地消除了如现有方法中那样顺序地将水听器或点源反射器移动到与每个元件对准的需要,从而显著减少了校准时间并消除了对准/扫描系统的成本。此外,因为声反射器202被放置在换能器102和聚焦区204之间的波束路径上,所以超声波在到达聚焦区之前从那里反射;因此,在声反射器202处仅产生有限的声强度。该方法避免了如现有方法那样损坏水听器或点源反射器的可能性。最后,由于声反射器202可以是简单的金属片或涂覆在合适的基板上的高反射材料,因此实施本文所述的超声校准程序可以是经济的。

[0059] 图5A为示出根据各种实施例用于校准换能器元件的几何特征的方法500的流程图。在第一步骤502中,控制器可以基于例如制造设计来确定或从存储器中获取超声系统100中的每个换能器元件104的预期几何特征(例如,位置和/或方向)。另外,基于预期几何特征,控制器可以确定与从每个换能器元件发射的超声波相关联的预期幅度和/或相位,以产生聚焦区。在第二步骤504中,在从元件104传输到聚焦区的超声波的波束路径上提供声反射器。声反射器可以配置为跨越与多个(或全部)换能器元件104的波束路径相交的区域。另外,声反射器可以可选地配置为具有与换能器102相似的轮廓形状。在第三步骤506中,换能器元件将超声波传输到位于声反射器后面的聚焦区。在第四步骤508中,使用换能器和/或声信号检测装置210测量从声反射器反射的超声。在第五步骤510中,控制器108分析所测量的反射以确定与之相关联的信息(例如,飞行时间、幅度和/或相位)。在第六步骤512中,基于所测量的飞行时间,控制器108可以确定换能器元件的实际位置。另外,控制器108可以将测得的反射波的幅度和/或相位与预期幅度和/或相位进行比较以确定它们之间的差异。随后,在第七步骤514中,控制器108可以使波束形成器106基于所确定的位置、幅度和/或相位的差异来调整与换能器元件相关联的驱动信号,以便补偿由换能器元件104的几何特征异常导致的输出误差。

[0060] 上述方法特别适合于校正换能器元件的几何特征,所述换能器元件的位置与其预期位置的偏差小于半个波长(即,所得相移小于 π)。如果与几何缺陷相关的相移超过 π ,则可能会发生相位缠绕(phase wrapping)。在各个实施例中,因为从每个元件104传输到聚焦区204的波束路径基本上垂直于元件104的发射表面,并且超声程序的目的是在聚焦区204处产生波束的相长干涉,如果元件与其预期位置的位置偏差 d 满足以下条件,则无需进行相位校正: $d=n\times$ 波长,其中 n 为小的整数(例如,小于10)。

[0061] 另外,在所有元件104中可能出现恒定的相移。例如,这可能是由于对穿过位于换能器元件104和声反射器202之间的超声介质(例如水)的超声波的速度的不准确预测而导致的;超声波的速度的不准确预测可能会导致超声波穿过介质时与超声波相关的相移的不准确预测。因此,在所有换能器元件上,测得的相移都可能与预期值有恒定的偏差。但是,再次,因为超声程序的目的是在聚焦区处产生相长干涉,所以校正所有元件中出现的恒定相移可能是不必要的。

[0062] 因此,在一些实施例中,即使反射波的测量指示反射波的测量的幅度和/或相位与预期幅度和/或相位之间的偏差,控制器108也可以确定不需要对差异进行补偿(例如,当元件位置与其预期位置的偏差为超声波波长的整数倍时和/或在所有元件104中出现恒定相

移时)。因此,参照图5B,利用这种方法,换能器元件的绝对几何特征不是关键的;相反,控制器108确定与换能器元件104相关联的最佳配置和最佳参数(例如,幅度和/或相位),以在聚焦区204处实现靶聚焦特性(步骤516)。在超声程序期间,可以基于所确定的最佳参数来驱动换能器元件104(步骤518)。

[0063] 如上所述,当超声波穿过位于换能器和声反射器之间的介质的速度改变时,可能出现相移变化。因此,至关重要的是确保介质中超声波速度的变化不显著(例如,在10%以内,在一些实施例中为5%)。由于介质的温度直接影响其中的声音速度,因此在一些实施例中,使用例如MRI设备来监测介质的温度。如果检测到显著变化,则可以调整对超声波速度的预测(且从而调整相移);因此,可以重新计算所测量的相移和预测的相移之间的相位差。

[0064] 在各种实施例中,声反射器202配置为有助于确定由位于换能器102与靶区域101之间的不均匀介质引起的波束像差。例如,参照图6,换能器元件104可以配置为在靶区域101处或附近产生聚焦区,并且可以,再次,在超声波的从换能器阵列102到靶区域101的波束路径上提供声反射器602。在一个实施方式中,声反射器是由超声波产生和/或由给药系统604引入的微泡云;微泡云602的表面在到达靶区域101之前共同形成反射超声波的反射器。另外,微泡云602可以配置为占据足够大的区域,使得来自一个以上换能器元件104的超声束可以从其反射。如上所述,从微泡云602反射的超声波可以由声信号检测装置210和/或换能器元件104检测,并且随后提供给控制器108以进行进一步处理。给药系统604可以像导管或针一样简单。在一些实施例中,给药系统604包括用于控制地引入携带微泡的外源性试剂(例如,超声造影剂或任何其他合适的试剂)的更复杂的系统。例如,给药系统604可以包括用于将外源性试剂输送到患者体内的引入装置(例如,导管或针)606;以及用于迫使外源性试剂从引入装置606分配的致动机构(例如,注射器、蠕动泵等)608,以及用于控制致动机构的启用和禁用从而控制外源性试剂(以及微泡)的输送剂量、时间和/或特性的控制器610。控制器610和超声控制器108可以在单个集成控制设备中实现,或者形成在它们之间通信的两个独立设备。合适的给药系统的例子在同时提交的标题为“Controlling Delivery of Therapeutic Agent in Microbubble-Enhanced Ultrasound Procedures(控制微泡增强的超声程序中的治疗剂的输送)”的美国专利申请中有所描述,其内容通过引用并入本文。

[0065] 在各种实施例中,控制器108分析反射以获得与反射波束相关联的信息,例如幅度和/或相位。在一个实施例中,控制器108将所测量的反射的相位 Φ_{ref} 与所发射的波的相位 Φ_{tra} 进行比较,并确定它们之间的差($\Delta\phi = \phi_{\text{ref}} - \phi_{\text{tra}}$)。所述差是由中间介质引起的波束像差引起的。基于此,控制器108操作换能器元件104以补偿超声治疗期间的这些像差,从而在靶区域处提供高质量的聚焦。

[0066] 在一些实施例中,控制器108使每个换能器元件104将具有所确定的相位差 $\Delta\phi$ 的相移的另一超声波束发射到聚焦区,并测量来自微泡云602的所得反射。再次,可以将反射的超声波和发射的超声波之间的相位差设置为用于下一次超声处理的相位值校正。此过程可以迭代地执行,直到反射波和发射波之间的相位差低于阈值(例如 10°)为止,这表明成功补偿了由位于换能器102和微泡云602之间的介质所引起的波束像差。但是,其他条件可能决定何时可以考虑为相位调整完成。例如,当已经执行太多迭代(例如,大于20)时或者当两

个连续的迭代之间的偏差改善太小(例如, $\Delta\phi_{n+1} - \Delta\phi_n < 5^\circ$)时,相位调整可以停止。

[0067] 另外,类似于在图5B中实施的声反射器202,控制器108可以确定对测量的相移与预期相移之间的偏差的补偿是不必要的。例如,当换能器元件104的测量位置与其预期位置的偏差是超声波波长的小整数倍(例如,小于10)和/或当在所有换能器元件104中出现恒定相移时,通常会发生这种情况。再次,换能器元件的绝对几何特征不是关键的;相反,控制器108确定换能器元件104的最佳配置以及它们可以在聚焦区处实现靶聚焦特性的相关参数(例如,幅度和/或相位)。此外,给药系统604可以在从换能器阵列102到靶区域101的超声波的波束路径上的各个位置处引入微泡反射器602,以便为每个换能器元件104提供来自不同几何位置的多个反射测量;这可以提高换能器几何特征的估计精度。再次,微泡反射器602的确切位置不是关键的,只要反射器602与超声波的波束路径相交并反射超声波即可;控制器108可以基于检测到的反射以及声反射器602和换能器元件104的相对几何布置来获得与换能器元件104相关联的信息(例如,幅度和/或相位)。

[0068] 由于超声焦点是在靶区域101处生成的,因此,可以通过增加微泡云602和靶区域101的位置之间的距离D来降低微泡云602处的声强,避免空化事件和/或微泡的其他非线性行为,从而避免了对介入组织的损害以及对校准可能的干扰。尽管增加距离D可以降低微泡空化,但这是一个折衷方案——由位于该距离内的介质引起的波束像差未得到补偿。在一些实施例中,控制器108基于关于介质的特性(例如,结构、均匀性、密度等)及其对声束传播的影响的信息来确定微泡云602的最佳位置。例如,如果包围靶区域101的组织的大部分是高度均匀的,从而引起有限的波束像差,则可以增加微泡云602和靶区域101之间的距离D,以避免微泡空化。相反,如果包围靶区域101的组织高度不均匀并且具有高的耐热性,则可以减小微泡云602和靶区域101之间的距离D,以提高由介入组织的不均匀性引起的波束像差的测量精度。在各种实施例中,基于例如换能器元件104相对于靶区域101的相对位置和/或靶组织和/或中间介质的特性来确定微泡云602的最佳位置、配置(例如形状)和/或跨越区域,因为这些因素影响通过介质行进的波束的像差,以及对避免微泡空化或其他非线性行为的需求。

[0069] 在各种实施例中,使用诸如磁共振成像(MRI)设备、计算机断层摄影(CT)设备、正电子发射断层摄影(PET)设备、单光子发射计算机断层扫描(SPECT)设备或超声检查设备之类的成像器612获得关于中间介质和/或靶区域101的特性的信息。成像器612可以提供适于重建中间介质和/或靶区域的3D图像的一组2D图像;替代地,图像采集可以是3D的。另外,图像处理功能可以在成像器612中、在控制器108中或在单独的设备中实施。

[0070] 另外,可以使用例如由超声波产生的声辐射力来操纵微泡云602的位置、配置和/或跨越区域。声辐射力是由于介质的吸收、散射或反射导致的传播的超声波的能量密度和动量发生变化而产生的。通常,声辐射力的幅度与超声强度成正比。因此,在一个实施方式中,引导至微泡云602的超声波束的强度逐渐增加,直到产生的声辐射力足以操纵和移动云602中的微泡。在另一个实施例中,在操纵微泡云之前,如上所述测量中间介质的特性(例如,吸收系数);例如,可以基于此计算足以移动云602中的微泡的超声强度。

[0071] 替代地,可以创建超声控制波束以将应力施加在云602中的微泡上以使其移动。超声控制波束可以机械地或电动地产生。在一个实施例中,换能器元件104相对于微泡物理地移动以机械地控制它们。在另一个实施例中,使用由对换能器元件所发射的声能的相对相

位进行调节而产生的电子控制。这种电子控制提供的控制程度与各个换能器元件104的大小成反比。例如,通常期望使换能器元件的尺寸在由阵列发射的声能的波长的数量级上,并且优选地小至波长的一半,以便有效地控制超声束。因此,对于通常用于聚焦超声系统的具有两毫米(2mm)数量级的波长的声能,进行有效的控制将需要具有相似尺寸,即,横截面约为2mm或更小的换能器元件。电子控制是优选的,因为不需要换能器阵列的物理运动并且控制快速发生。

[0072] 图7为示出根据各种实施例,当穿过位于换能器与靶区域之间的介质并调节换能器参数以补偿所测量的像差时用于测量超声束像差的方法的流程图。在第一步骤702中,在从换能器元件到靶区域的波束路径上提供声反射器(例如,微泡云)。可以通过发射具有高于阈值的强度的超声波来生成微泡云和/或从给药装置引入微泡云。另外,微泡云的位置、配置和/或跨越区域可以被操纵和优化以反射来自多个换能器元件的超声波,同时避免微泡空化或其他非线性行为。可以通过使用由超声波产生的声辐射力和/或由超声波控制束产生的应力来执行微泡云602的操作。在第二步骤704中,换能器元件将超声波发射到靶区域。在第三步骤706中,使用换能器元件104和/或声信号检测装置210来测量从微泡云反射的超声。在第四步骤708中,控制器108分析所测量的反射以确定由位于换能器元件和微泡云之间的介质引起的波束像差(例如,相移)。在第五步骤710中,控制器108使波束形成器106调整到换能器元件的驱动信号,以便补偿所确定的像差,从而在靶区域101处产生高质量的聚焦。

[0073] 应当注意,尽管本文描述的换能器校准程序和像差补偿程序利用微泡来反射超声波,但是可以使用其他方法来反射超声波。例如,给药系统604可以在治疗之前和/或过程中将由各种液态全氟化碳试剂组成的乳液和/或液滴给药到靶区域中。超声脉冲的初始施加可能导致液滴蒸发成微泡,而超声脉冲的后续施加可以从微泡反射。可以如上所述检测和分析反射。

[0074] 通常,如上所述的功能(例如,分析反射波以获得信息,例如与之相关的幅度和/或相位,将测得的反射的相位与预期相位进行比较,计算超声波的“飞行时间”,估算超声波穿过位于换能器和声反射器之间的介质的速度,将测得的反射的相位与发射波的相位进行比较,确定与换能器元件相关的最佳参数,和/或确定声反射器的最佳位置),无论是集成在成像系统612、声信号检测装置210和/或超声系统100的控制器中,还是由单独的外部控制器或其他一个或多个计算实体提供,都可以构建在以硬件、软件或二者结合中实施的一个或多个模块中。对于其中功能作为一个或多个软件程序提供的实施例,所述程序可以用许多高级语言中的任何一种来编写,例如PYTHON、JAVA、C、C++、C#、BASIC、各种脚本语言和/或HTML。另外,软件可以用指向驻留在靶计算机(例如,控制器)上的微处理器的汇编语言来实现;例如,如果软件配置为在IBM PC或PC克隆上运行,则可以用Intel 80x86汇编语言实现。所述软件可以实施在制品上,包括但不限于软盘、闪存盘、硬盘、光盘、磁带、PROM、EPROM、EEPROM、现场可编程门阵列或CD-ROM。可以使用例如一个或多个FPGA、CPLD或ASIC处理器来实现使用硬件电路的实施例。

[0075] 另外,这里使用的术语“控制器”广泛地包括用于执行如上所述的任何功能的所有必要的硬件组件和/或软件模块;所述控制器可以包括多个硬件组件和/或软件模块,并且功能可以在不同的组件和/或模块之间传播。

[0076] 以上描述了本发明的某些实施例。然而,明确指出,本发明不限于这些实施例;相反,对本文明确描述的内容的添加和修改也包括在本发明的范围内。

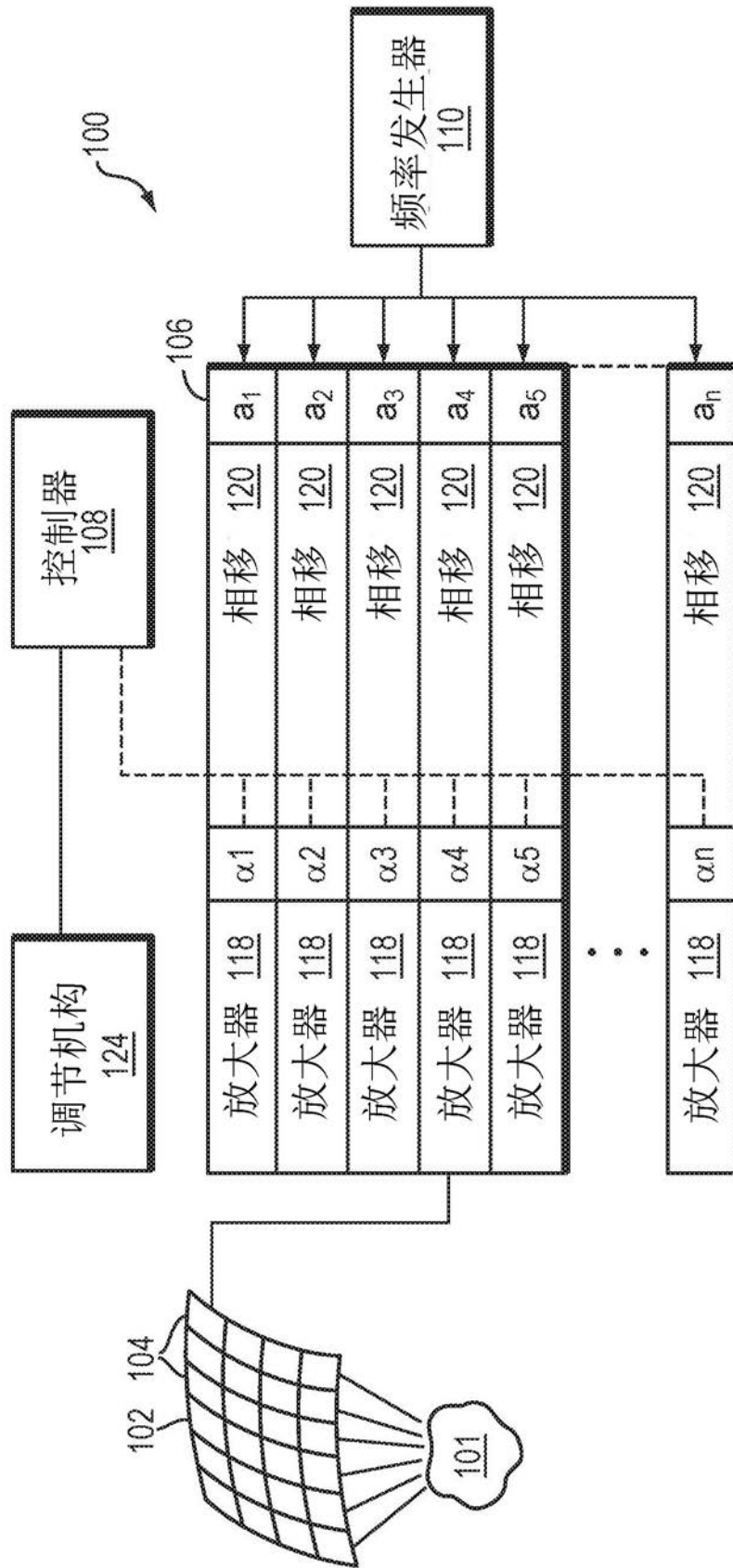


图1

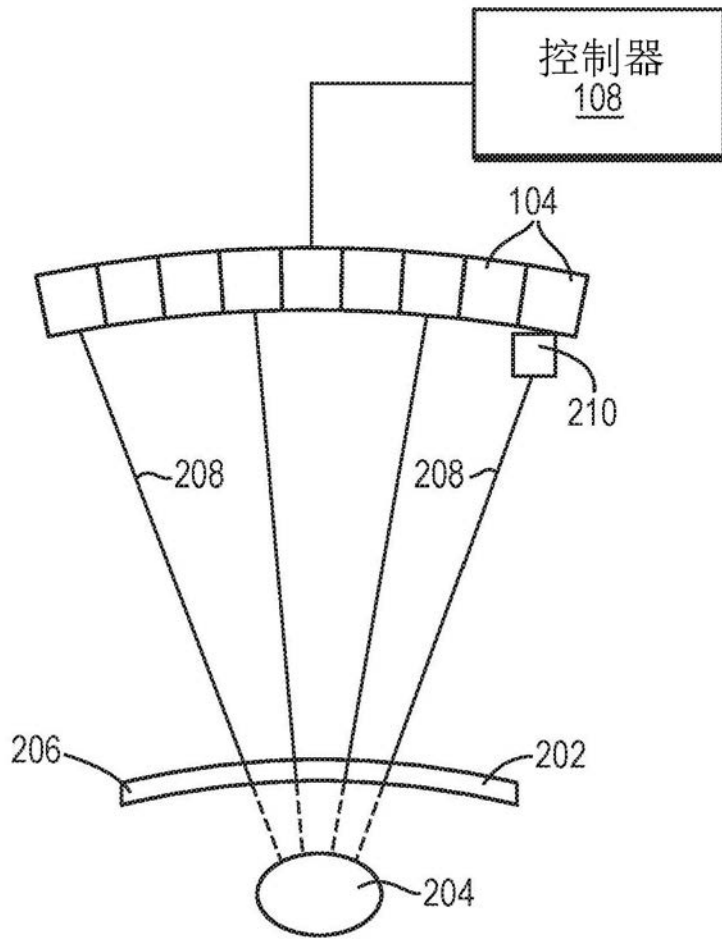


图2

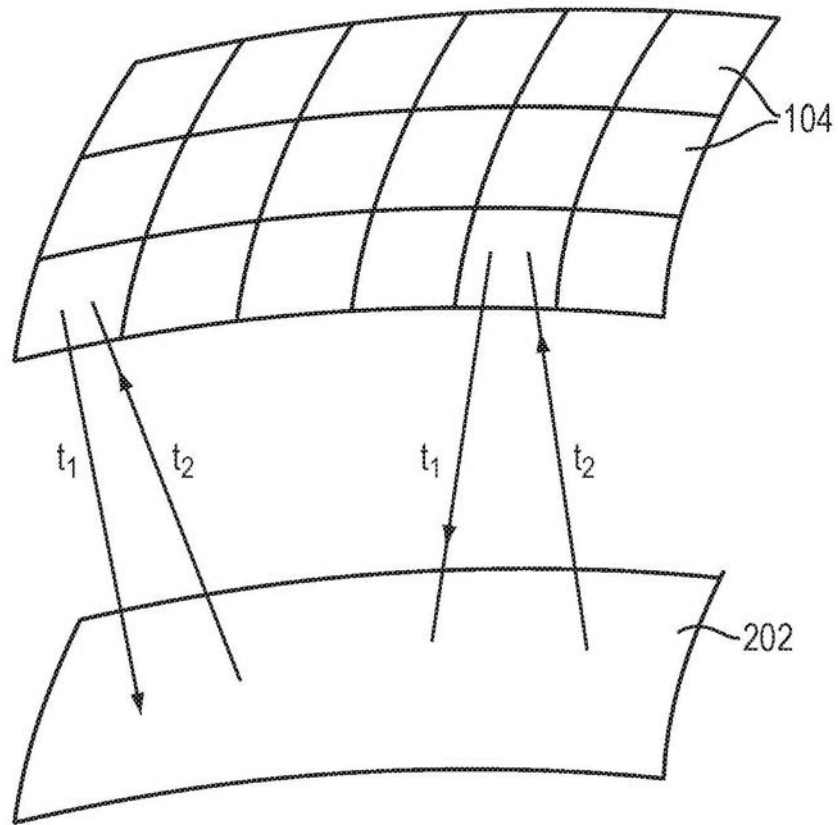


图3A

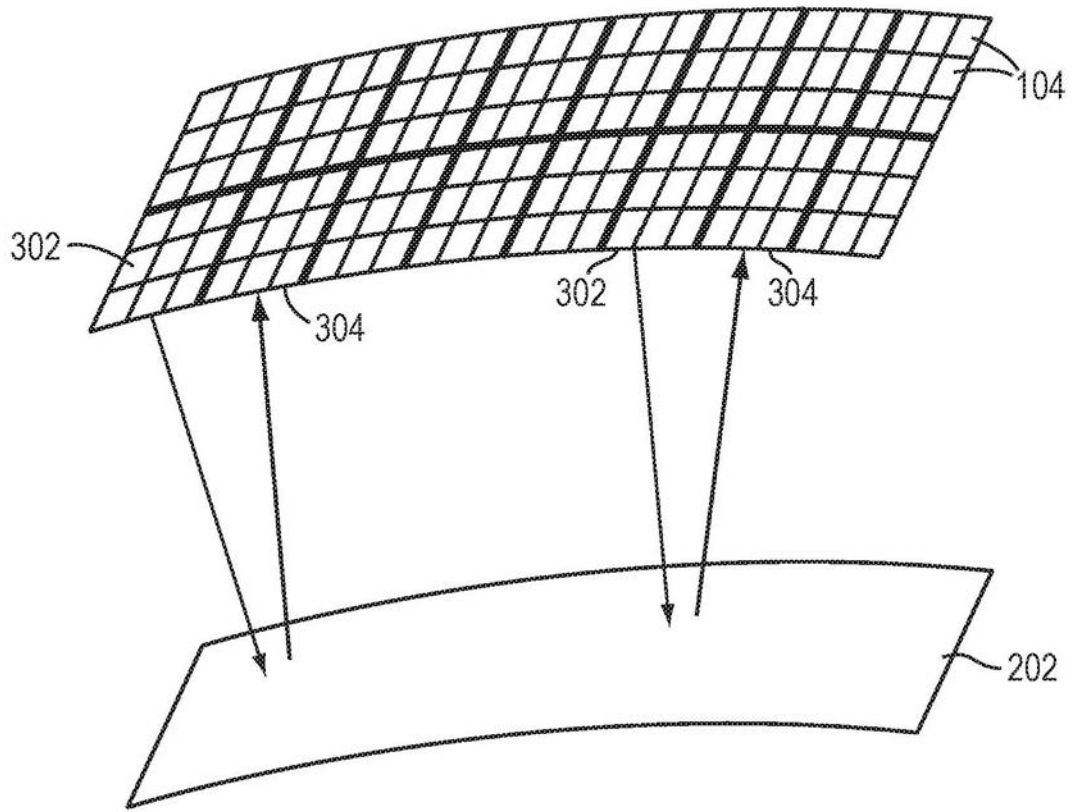


图3B

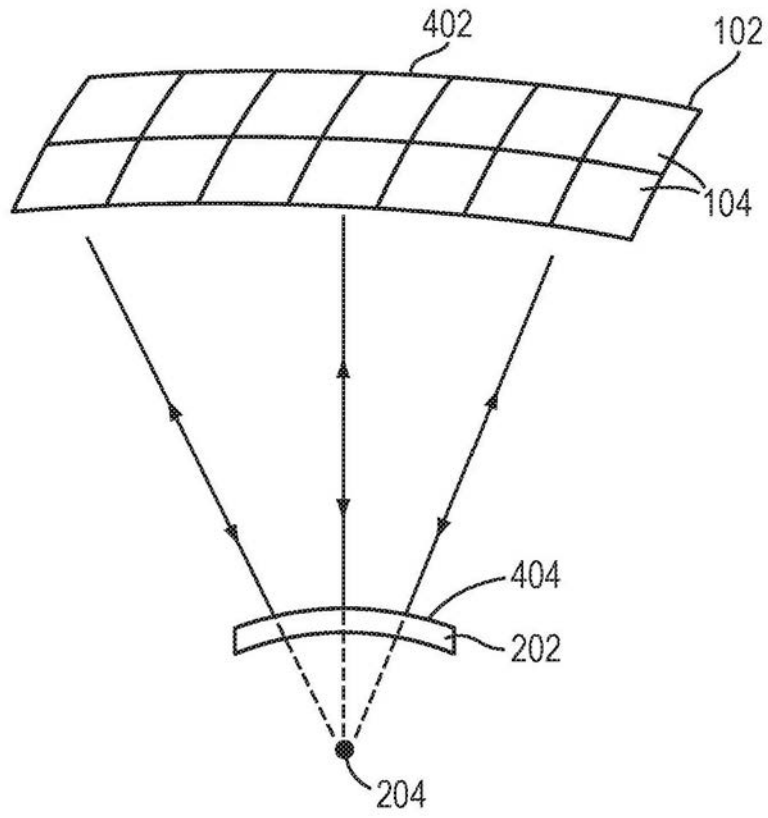


图4A

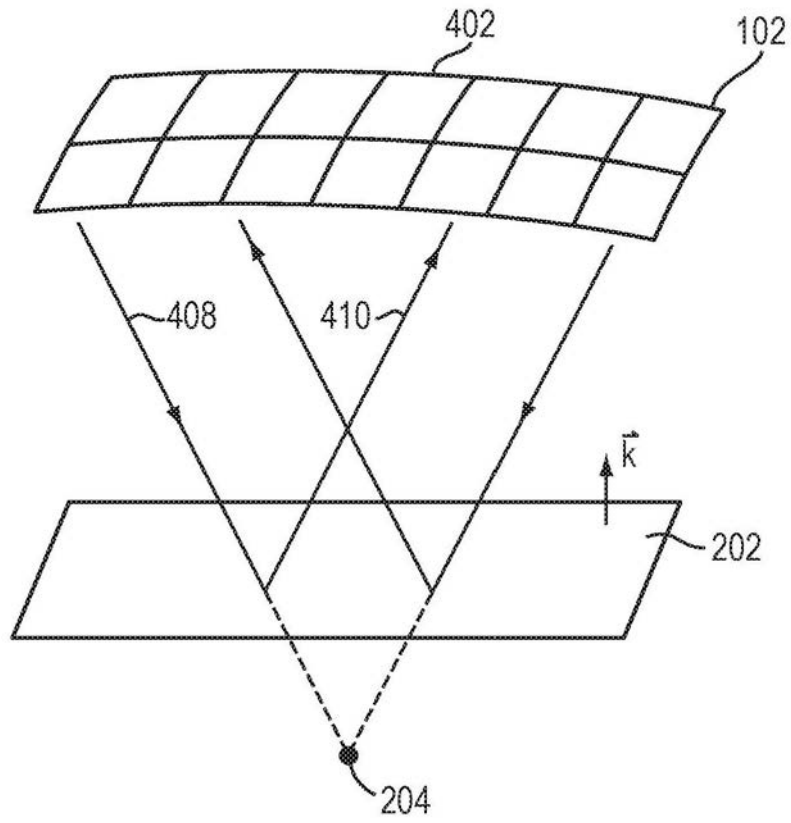


图4B

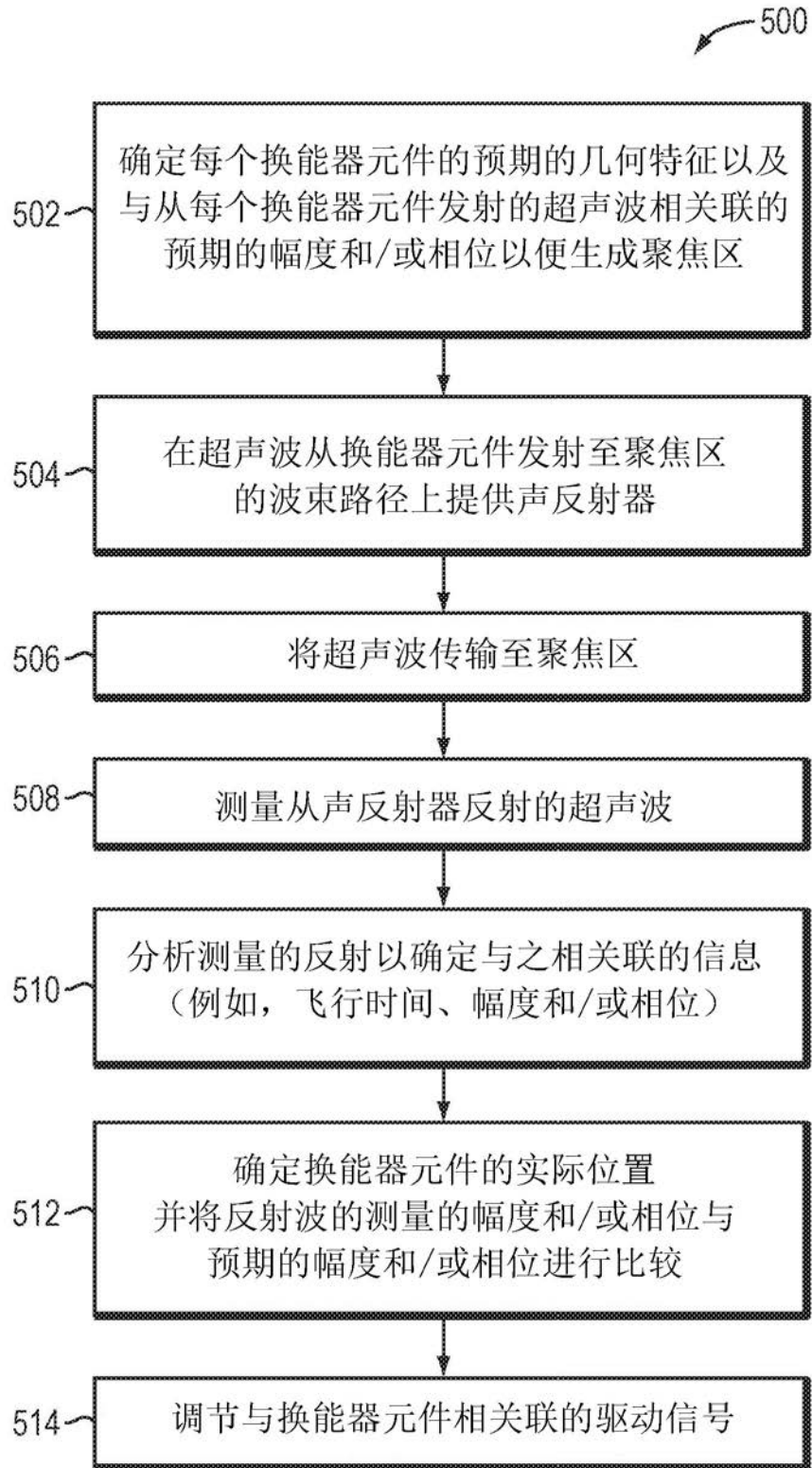


图5A

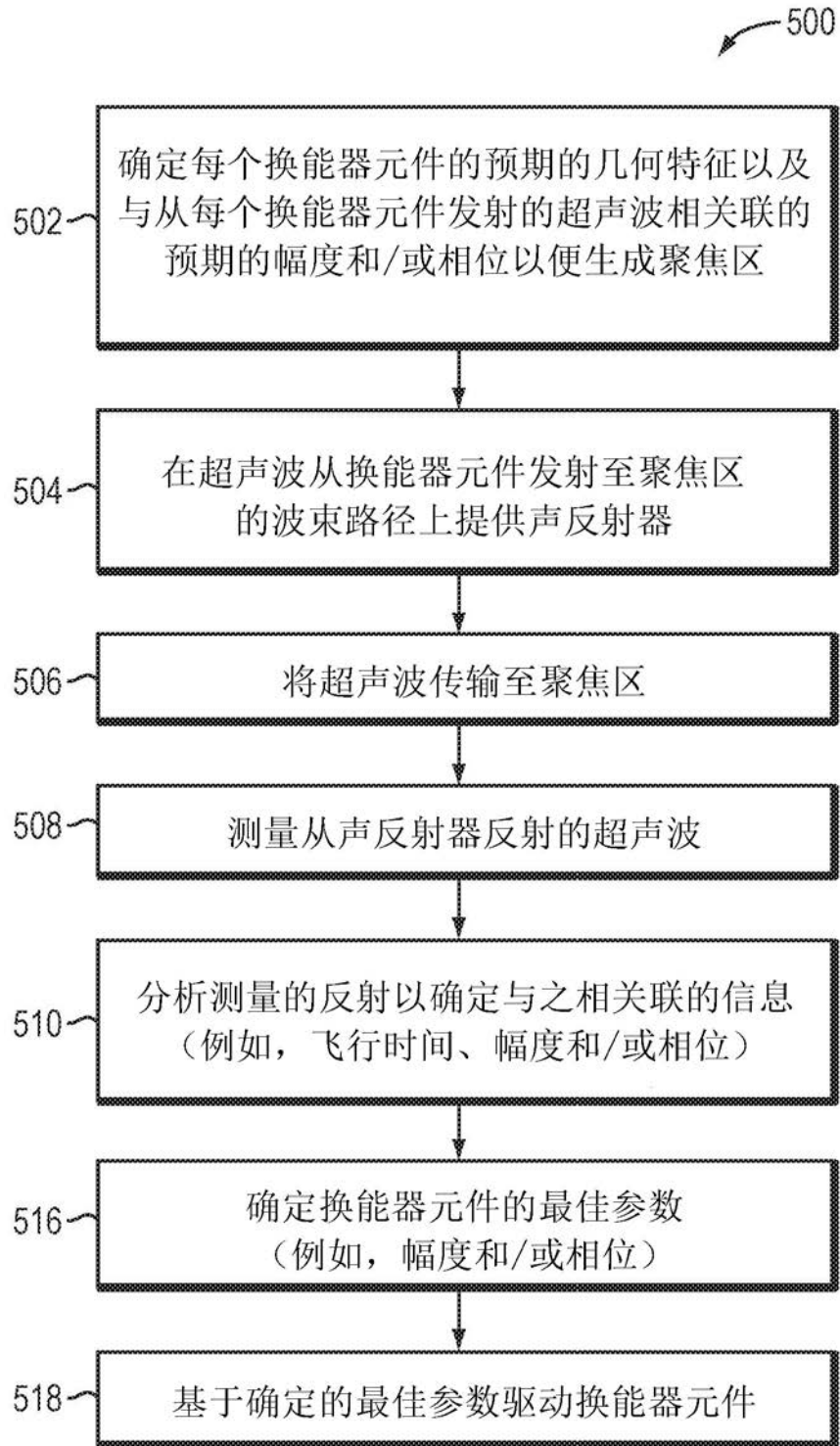


图5B

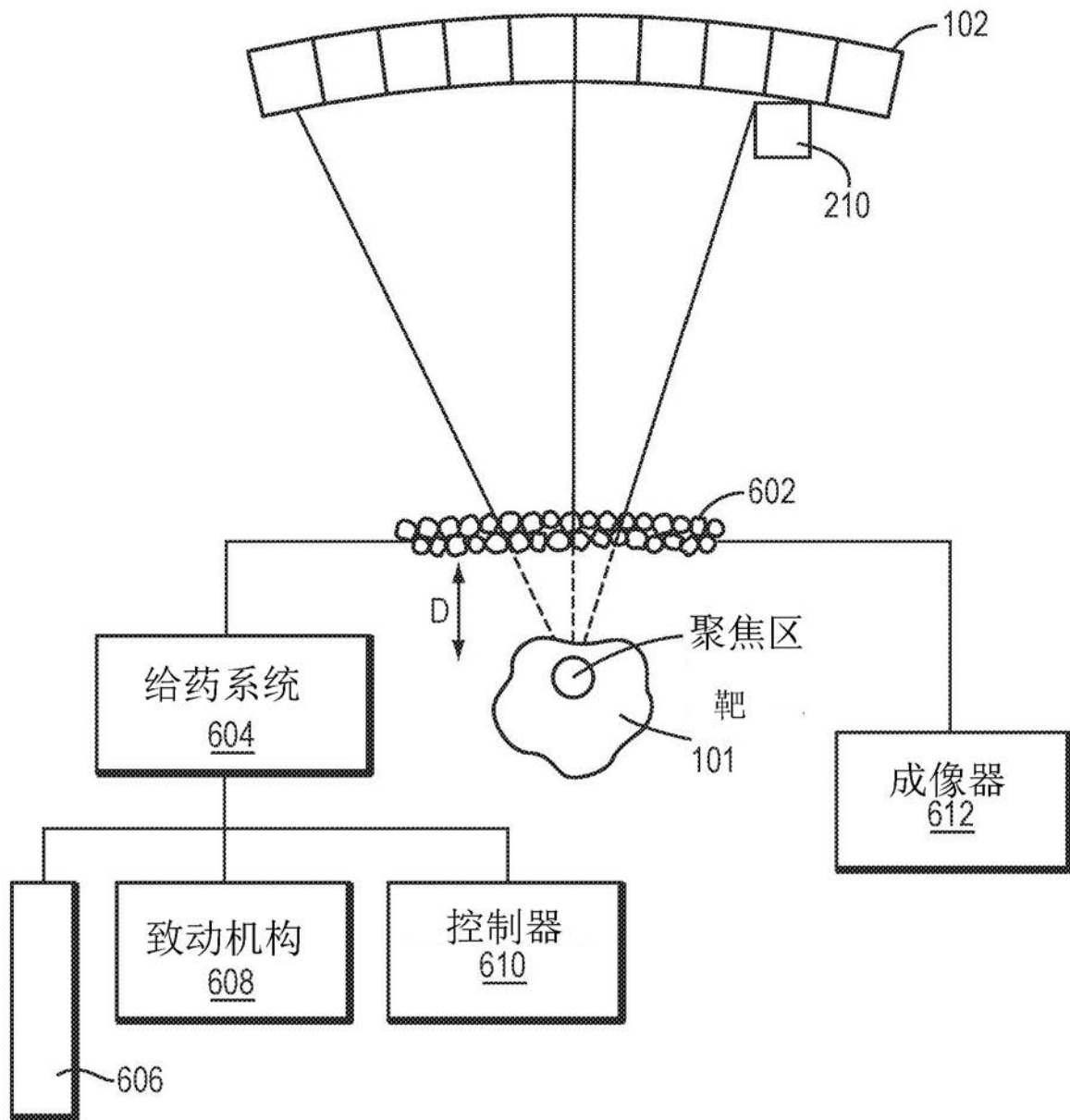


图6

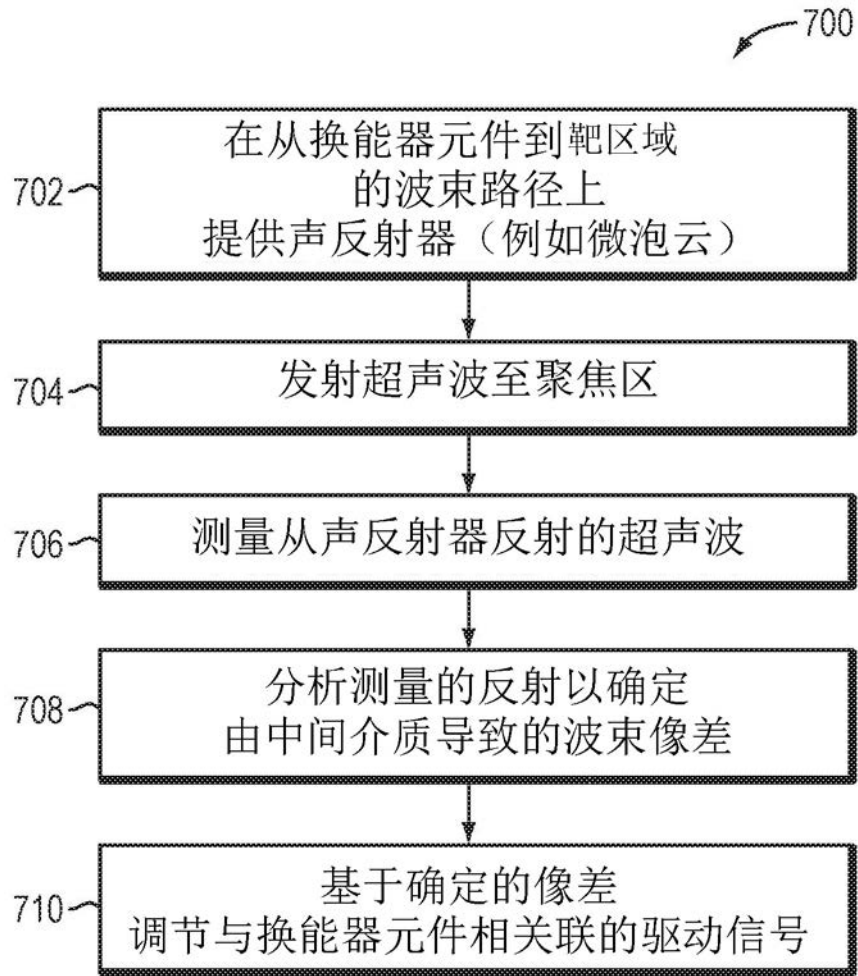


图7